

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN EN INDELPA S. A. DE UN
SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA CALENTAMIENTO DE AGUA EN EL
TRATAMIENTO QUÍMICO DE SUPERFICIES

Proyecto de grado

Diana Patricia González Ospina

Universidad EAFIT
Escuela de Administración
Maestría en Administración MBA
Pereira
2014

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN EN INDELPA S. A. DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA CALENTAMIENTO DE AGUA EN EL TRATAMIENTO QUÍMICO DE SUPERFICIES

Diana Patricia González Ospina
dgonza30@eafit.edu.co

Resumen

El continuo desgaste del ecosistema de nuestro planeta y el agotamiento a mediano plazo de las reservas de combustibles fósiles como gas, petróleo y carbón, son las consecuencias de mayor impacto del actual sistema energético mundial que se fundamenta en el uso intenso de estas fuentes de energía. Es por esto que se hace necesaria la implementación de energías alternativas que sean amigables con el medio ambiente, y aún más en los procesos industriales; entre estas fuentes alternativas se encuentra la energía solar, que cuenta con la potencia más alta de las energías renovables. La instauración de fuentes no convencionales de energía ha requerido acciones de apoyo que las hagan viables. El gobierno colombiano ha dispuesto recursos de cofinanciación para las pymes que desarrollen proyectos que involucren energías limpias; adicionalmente, en el mercado financiero se encuentran algunas herramientas de financiación como el *leasing* que podrían servir para la implementación de este proyecto en caso de determinarse su viabilidad. El análisis de viabilidad de la implementación de la energía solar como fuente alternativa al interior del proceso de tratamiento químico de superficies en la empresa metalmecánica INDELPA S. A. es el objeto de este estudio. Dicho proceso metalmecánico requiere calentamiento de grandes volúmenes de agua, lo que implica en el momento consumos elevados de gas natural.

Palabras clave

Viabilidad, energía solar, calentamiento de agua, eficiencia energética

Abstract

The continuous wear of the ecosystem of our planet and the medium-term depletion of the fossil fuels reserves such as gas, oil and coal, are the consequences of major the current global energy system impact, which is based on the intensive use of these energy sources. That is why, the implementation of alternative energy friendly to the environment is necessary, and even more for industrial processes; among these alternative sources the solar energy is the most, which has the highest power of renewable energy. The establishment of non-conventional energy sources has required supporting actions that make them viable. The Colombian Government has provided co-financing resources for Pymes (in English SME = Small and Medium Enterprises) who involving developing clean energy projects; furthermore in the financial market are some financing tools as leasing for example, that could be used for implementation of this project once its viability has been studied. The viability analysis of the implementation of solar energy as an alternative within the process of chemical surface treatment in INDELPA SA Company is the subject of this study. This metalworking process requires heating of large volumes of water, which means a high consumption of natural gas

Key words

Viability, solar energy, water heating, energy efficiency

Tabla de contenido

Contenido

Tabla de contenido	3
Tabla de ilustraciones	4
1. Introducción	5
1.1 Situación de estudio y pregunta	6
1.2 Objetivos	8
1.2.1 Objetivos específicos.....	8
1.3 Justificación del trabajo	9
2.1 Marco conceptual	11
1.4 Metodología.....	15
1.4.1 Estudio sectorial: análisis del sector eléctrico	15
1.4.2 Estudio de mercado	29
1.4.3 Estudio técnico.....	34
1.4.4 Estudio organizacional	39
1.4.5 Estudio legal	41
1.4.6 Evaluación financiera	46
1.4.7 Evaluación ambiental	48
1.4.8 Análisis de riesgo.....	49
1.5 Presentación y análisis de resultados	53
1.6 Conclusiones	55
2. Referencias.....	56

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Ciclo de vida de un proyecto	12
Ilustración 2. Estructura del sector eléctrico colombiano	17
Ilustración 3. Comportamiento del PIB por ramas de actividad económica 2011-2012.....	19
Ilustración 4. PIB por sectores del primer trimestre 2011-2012	19
Ilustración 5. Licencias ambientales por sector (1993-2011)	20
Ilustración 6. Dimensiones de tanques de proceso de tratamiento químico en INDELPA S. A.....	36
Ilustración 7. Organigrama INDELPA S. A.	39
Ilustración 8. Distribución porcentual del riesgo - Análisis cuantitativo	50
Ilustración 9. Selección de la distribución en herramienta <i>software @RISK</i>	51
Ilustración 10. Análisis gráfico TIR proyecto, herramienta <i>@RISK</i>	52
Ilustración 11. Análisis gráfico VPN proyecto, herramienta <i>@RISK</i>	53

1. Introducción

En la actualidad, el indiscriminado uso de los sistemas energéticos convencionales (combustibles fósiles) ocasiona daños irreversibles al medio ambiente. Es por esto que se hace necesaria la implementación de nuevas tecnologías energéticas que no contaminen y que sustituyan el uso de los combustibles convencionales, para satisfacer las necesidades de energía en el mundo.

Las industrias metalmecánicas, en su proceso de tratamiento químico, requieren el calentamiento de agua a temperaturas entre 45 °C a 60 °C. Para alcanzar estas temperaturas, las empresas emplean principalmente el gas natural como combustible, por su elevado poder calorífico; sin embargo, el gas natural es una fuente de energía fósil que, como el carbón o el petróleo, está compuesto por una mezcla de hidrocarburos (moléculas formadas por átomos de carbono e hidrógeno), que genera emisiones de CO₂ a la atmosfera, incrementando el efecto invernadero, provocando una afección sobre el clima, alterando el equilibrio de la radiación y, en consecuencia, causando modificación del ecosistema.

Si pensamos desde la responsabilidad de los gobiernos, que, de acuerdo con el protocolo de Kioto, se comprometieron a reducir la emisión de gases que producen el efecto invernadero, mejorarían las expectativas, dado que, desde el punto de vista económico, se evitaría la compra de créditos por emisión y, mejor aún, al reducir la emisión se podrían vender los créditos de emisión a los países que lo necesiten.

Como resultado de estos análisis, los empresarios están buscando fuentes alternativas de energía que no impacten negativamente el medio ambiente y que, además, les generen beneficios financieros adicionales, tales como incentivos tributarios y recursos no reembolsables, entre otros.

En la primera parte de este documento se determina la situación de estudio y se contextualiza el proyecto dentro del sector industrial y de la empresa. La segunda parte, contiene el marco conceptual y el desarrollo del estudio realizado. Finalmente, se presentan los resultados y las conclusiones del estudio de viabilidad.

1.1 Situación de estudio y pregunta

En las empresas que se dedican a la manufactura de productos metálicos, como es el caso de la compañía INDELPA S. A, la materia prima principal de sus productos es la lámina de acero tipo *Cold Rolled (CR)* o laminado en frío, que es transformada en productos que se comercializan ofreciendo soluciones para el sector eléctrico. Los acabados finales de estos productos requieren un recubrimiento con pintura electrostática. Previa a esta aplicación de pintura, la superficie metálica se debe preparar con el fin de que alcance las condiciones óptimas para recibir dicha pintura: una excelente adherencia que impida que esta se despegue, y evitar que se genere corrosión en la unión de la capa de pintura con la superficie metálica. Este proceso se conoce como proceso de preparación de substratos. Para el caso de estudio, es un proceso químico por inmersión. El proceso de lavado por inmersión requiere el calentamiento de grandes volúmenes de agua, que se encuentran depositados en tanques de almacenamiento para el proceso. La mayoría de las empresas de este sector hacen uso del gas natural como fuente principal de energía para el proceso de calentamiento del agua, lo que genera un impacto ambiental fuerte, en cuanto a emisiones de CO₂.

En INDELPA S. A., dicho proceso consta de cinco pasos que son: desengrase (55 °C a 60 °C), enjuague, activador, fosfato (45 °C a 50 °C) y enjuague final; cada paso equivale a un tanque de 6.000 litros de agua, de los cuales dos, el desengrase y el fosfato, requieren temperatura.

Para obtener las temperaturas requeridas en este proceso, INDELPA S. A. cuenta con un sistema de quemadores de gas que entregan en promedio 400.000 Btu/hr, con costos mensuales aproximados de tres millones quinientos mil pesos (\$3.500.000).

Reemplazar el gas natural por un sistema de calentadores con energía solar, como fuente de calentamiento de agua, representaría para la empresa INDELPA S. A. un avance en términos de eficiencia energética y de desarrollo tecnológico con respecto a las empresas del sector, así como un impacto favorable al medio ambiente, por la reducción de contaminantes; además, el acceder a los incentivos tributarios que ofrece el gobierno.

Es por esto que determinar la viabilidad de la implementación de un sistema de calentamiento de agua utilizando energía solar como fuente alternativa es de gran importancia para la empresa INDELPA S. A., en la medida en que no solo contribuiría a la protección del medio ambiente, sino que también permitiría obtener mejoras en eficiencia energética. Lo anterior explica la pregunta que originó este trabajo de grado: ¿Qué viabilidad tiene la implementación en INDELPA S. A. de un sistema térmico de energía solar para calentamiento de agua en el tratamiento químico de superficies?

1.2 Objetivos

Determinar la viabilidad del proyecto de uso de un sistema térmico de energía solar para calentamiento de agua en el tratamiento químico de superficies, en la industria metalmecánica INDELPA S. A.

1.2.1 Objetivos específicos

1. Disminuir costos de producción (costos operativos), en energía para calentamiento de agua.
2. Contribuir en la disminución de contaminación hacia el medio ambiente, al rebajar las emisiones de CO₂ a la atmósfera.
3. Aumentar la eficiencia y seguridad del sistema, al utilizar captadores solares por termosifón.

1.3 Justificación del trabajo

En la actualidad el sistema de calentamiento de agua más utilizado en la industria metalmecánica es el uso de quemadores de gas natural. INDELPA S. A. no es ajena a esta implementación, y ha operado con este sistema desde sus inicios. Este tipo de sistemas pueden presentar deficiencias desde el punto de vista energético; por esta razón, determinar el análisis de viabilidad de la implementación de un sistema de calentamiento de agua con energía solar para el tratamiento químico de superficies no solo significaría un método más amigable con el medio ambiente, sino que también tendría un impacto económico favorable en la empresa, dado que este generaría mayor eficiencia energética.

INDELPA S. A. desea incursionar en la utilización de energías limpias que ayuden a disminuir el impacto ambiental. Si esto fuera viable, este ensayo sería prototipo replicable en otras empresas, mediante un desarrollo que permita hacer viable la implementación de este tipo de energías, tanto desde el punto de vista económico como ambiental. Sin embargo, es necesario tener en cuenta factores adicionales que inciden en la utilización de este proyecto, tales como: costos, madurez tecnológica, impacto socio-económico y el ya mencionado impacto ambiental.

La energía solar térmica se empezó a utilizar en Colombia en la década de los ochenta, en aplicaciones de calentamiento de aguas sanitarias; pero, en los años noventa, con la entrada del gas natural a precios muy económicos, la utilización de este tipo de energía quedó relegada.

El aumento que han sufrido los precios de los combustibles fósiles a través de los años y la destrucción de la capa de ozono debido a la contaminación hace pensar nuevamente en la utilización de energías limpias.

La energía solar es entonces una excelente alternativa, ya que como se observa en la Tabla 1, tiene el potencial más alto entre las energías renovables:

	Potencial Teórico TW = Tera Watt	Potencial Técnico
Biomasa	8-14 [TW]	6-8 [TW]
Hidráulico	4,6 [TW]	1,6 [TW]
Geotérmico	66 [TW]	11,6 [TW]
Eólico	20 [TW]	2 [TW]
Solar	600 [TW]	60 [TW]
Oceánico	234 [TW]	Sin datos

Tabla 1. Potencial teórico y técnico de las energías renovables. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Blanco, 2008).

El sol se considera, para efectos prácticos, como un cuerpo negro que irradia energía a una temperatura de 5800 °K. Este razonamiento se debe a que la distribución espectral que posee es bastante similar a la de un cuerpo negro. La potencia total que es capaz de producir el sol es $3,8 \cdot 10^{20}$ [MW], pero solo una fracción llega a la Tierra. Por lo tanto, la radiación efectiva que llega a la Tierra corresponde a 1,3530 [kW/m²], que se conoce como la constante solar. Sin embargo, la radiación que efectivamente llega a la superficie del planeta es menor, debido a efectos de absorción, dispersión y reflexión por parte de la atmósfera, pero es más que suficiente para obtener eficiencia energética en este tipo de procesos de calentamiento de agua (Meinel, 1982 pp. 42-47).

La utilización de la energía solar transformada en energía térmica como alternativa para sustituir los calentadores convencionales (eléctricos o de gas) es una opción atractiva para el caso en estudio, en el que se manejan temperaturas entre 50 y 60 grados centígrados.

2.1 Marco conceptual

Teniendo en cuenta los conceptos de distintos autores, la gestión de proyectos, también llamada gerencia de proyectos, es la disciplina que integra los procesos de planificación y administración de recursos, con el fin de alcanzar el desarrollo de las actividades necesarias para llevar a cabo un proyecto y cumplir con el alcance de este, dentro de los límites de tiempo establecidos, de acuerdo con los costos definidos, y que esté enmarcado dentro de un ambiente laboral satisfactorio para las personas que participan de él.

Un proyecto es entonces un conjunto de acciones que buscan una solución inteligente y adecuada al planteamiento de una necesidad; es decir, resolver un problema y aprovechar una oportunidad o la satisfacción de un deseo humano, con un objetivo específico, en un horizonte de tiempo determinado. El proyecto puede tener diversos enfoques, destinados a resolver necesidades del ser humano en todas sus facetas, como pueden ser: educación, salud, ambiente, alimentación, cultura, etcétera (Miranda, 2005; PMI 2013; Palacios, 2009; Baca Urbina, 2006).

“Siempre que exista una necesidad humana de un bien o un servicio, habrá necesidad de invertir, pues hacerlo es la única forma de producir un bien o servicio. Una inversión inteligente requiere una base que la justifique. Dicha base es precisamente un proyecto bien estructurado y evaluado que indique la pauta que debe seguirse. De ahí se deriva la necesidad de elaborar los proyectos” (Miranda 2005). Según lo expuesto anteriormente, los proyectos constituyen un aspecto fundamental al interior de cualquier organización, para mantener las ventajas competitivas en los mercados actuales, altamente competidos.

Los proyectos se caracterizan por ser temporales, singulares, nuevos, materializadores, integradores y flexibles, y porque sus objetivos son medibles, alcanzables, específicos, claros y concisos. Estos objetivos deben definirse en términos de alcance, tiempo, costo y calidad, así como incluir el elemento riesgo para disminuir la incertidumbre durante la ejecución de este. Es útil pensar en el trabajo del proyecto partiendo del hecho que este puede pasar por varios estados distintos. El conjunto de estos estados se denomina “ciclo de los proyectos” (Morales y Morales, 2009). El ciclo de vida de un proyecto se forma por tres estados (ver Ilustración 1).



Ilustración 1. Ciclo de vida de un proyecto

El primero, es el estado de preinversión. En este se realiza el proceso de identificación de la necesidad o problema y se prepara la información para determinar si es justificable ejecutar el proyecto. La información de preparación debe ser confiable y los estudios técnicos, financieros, de mercado, económicos, etc., que la respaldan, deben tener el nivel de profundidad necesario para tomar una decisión acertada sobre la conveniencia de realizar el proyecto.

El segundo, es el estado de inversión, también llamado de ejecución, y cubre hasta el momento en que el proyecto entra en operación plena; en este se debe tener en cuenta la capacidad de ejecución y coordinación, así como los elementos de control durante el desarrollo del proyecto, garantizando que se cuente con los recursos necesarios para entrar en operación.

El tercer estado es la operación. En este, finaliza la inversión, el proyecto provee los bienes para los cuales fue planteado, y se deben recibir los beneficios esperados. Se realiza la evaluación post-inversión, para examinar las razones de éxito o de fracaso, con el objetivo de replicar las acciones satisfactorias y de evitar las que generaron problemas para la implementación de futuros proyectos. Se determina si los objetivos eran factibles y si estaban definidos claramente, así como si la capacidad de ejecución estuvo bien evaluada (Morales y Morales, 2009).

El presente trabajo “Estudio de viabilidad de la implementación en INDELPA S. A. de un sistema de energía solar térmica para calentamiento de agua en el tratamiento químico de superficies”, dentro del ciclo de vida de un proyecto corresponde al estado de preinversión.

Para determinar entonces si la realización de un proyecto representa ventajas suficientes en comparación con los recursos invertidos, se desarrollan estudios de factibilidad y de viabilidad en la etapa de pre inversión.

En cuanto al concepto de factibilidad, según Varela (2010): “Se entiende por factibilidad las posibilidades que tiene de lograrse un determinado proyecto”. El estudio de factibilidad es el análisis que realiza una empresa para determinar si el negocio que se propone será bueno o malo y cuáles serán las estrategias que se deben desarrollar para que sea exitoso.

Un proyecto factible es un proyecto que es posible de realizar. Un proyecto viable es un proyecto que, además de ser factible, resulta sostenible y rentable económicamente en el tiempo y que, adicionalmente, arroja resultados que satisfacen los objetivos planteados.

El análisis de pre factibilidad es un análisis de carácter previo, que involucra fuentes secundarias de información y que genera un pronóstico que resulta de la comparación de alternativas en las que se evalúan las posibilidades de inversión.

El análisis de viabilidad es el estudio que determina el éxito o fracaso de un proyecto, buscando reducir la incertidumbre asociada con la realización de un proyecto de inversión, partiendo de una serie de datos, que involucran: rentabilidad, flujo de caja de operación, dirección técnica, medio ambiente, legislación aplicable, entorno social, político y cultural, que puedan afectar la ejecución del proyecto. Este estudio demanda información primaria y un análisis detallado del mercado y requiere una valoración exacta de los beneficios en comparación con los costos de la implementación y desarrollo del proyecto, representado en la evaluación técnica económica del mismo (Palacios, 2009). Con este estudio se adquieren las bases para la toma de decisiones ejecutivas en el ámbito en el cual el proyecto se desarrollara.

Un estudio de viabilidad hace referencia entonces a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos planteados y requiere la aprobación de evaluaciones básicas: evaluación técnica, evaluación ambiental, evaluación de mercado, evaluación financiera y evaluación socio-económica. La aprobación de cada evaluación está relacionada con las demás, ya que un proyecto puede ser viable técnicamente, pero no financieramente o ambientalmente. El éxito de un proyecto está determinado por el grado de viabilidad que se presente en cada una de las evaluaciones anteriores; para esto, es muy importante tomar datos relevantes sobre el

desarrollo del proyecto y, con base en estos, tomar la mejor decisión: si es o no pertinente su ejecución o implementación.

Es necesario también analizar los objetivos de la organización, para determinar la aplicabilidad de un proyecto que permita el alcance de las metas organizacionales, así como los recursos disponibles o que la empresa puede proporcionar. Es por ello que este estudio permite la utilización de diversas herramientas que permitan determinar si el reemplazo del gas natural como combustible con energía solar, en el proceso de tratamiento químico de superficies metálicas, es viable para INDELPA S. A., a partir de los costos, beneficios y el grado de aceptación que esta propuesta genere.

Si el proyecto es viable, se puede pensar en diseñar un plan de proyecto para su ejecución y poder convertir el proyecto en una realidad.

1.4 Metodología

1.4.1 Estudio sectorial: análisis del sector eléctrico

1.4.1.1 El sector eléctrico y sus vínculos con el resto de la economía - análisis del sector eléctrico en Colombia

El sector eléctrico colombiano está constituido por todas las empresas que, a nivel nacional, se dedican a las distintas actividades relacionadas con la generación, distribución, transporte y comercialización del bien energía eléctrica, tanto dentro como fuera de Colombia, así como de aquellas compañías dedicadas a la fabricación y comercialización de bienes o suministros, o prestación de servicios conexos a la energía. Así las cosas, el sector está integrado por empresas heterogéneas, de capital público y privado, catalogadas desde pequeñas y medianas hasta grandes

por nivel de activos, ubicadas en distintas áreas geográficas del territorio colombiano, que componen un sector dinámico del cual dependen sin excepción alguna las demás actividades económicas en Colombia; o también, porque no, varias empresas o regiones fuera de Colombia. El sector entonces lo integran las empresas generadoras, transportadoras, distribuidoras y comercializadoras de energía, así como las compañías encargadas del suministro de bienes conexos, tales como: cables y conductores; piezas eléctricas y carcasas; y productos intermedios destinados a formar parte de un sistema completo como son: transformadores, motores, generadores, baterías y acumuladores, equipos de iluminación, equipos de protección y control y los productos finales de la cadena, constituidos por maquinaria y equipos para suplir las necesidades domésticas, comerciales e industriales directamente relacionados con el consumo de la energía eléctrica. Otros bienes suministrados son: tableros eléctricos, tableros de control, torres de energía, o sus componentes, y demás suministros. También hacen parte las empresas prestadoras de servicios conexos, tales como consultoría, diseño, construcción, *software* y capacitación, entre otros (Analdex, 2008).

La mano de obra que demanda el sector eléctrico, en más del 80% es altamente calificada, ya que su personal requiere, en el peor de los casos, estudios técnicos o tecnológicos, advirtiendo que en Colombia todavía existen enormes barreras educativas que impiden que el sector pueda contar oportunamente con la oferta laboral óptima, lo cual sin duda constituye una desventaja frente a otros países.

Estructura del sector eléctrico colombiano

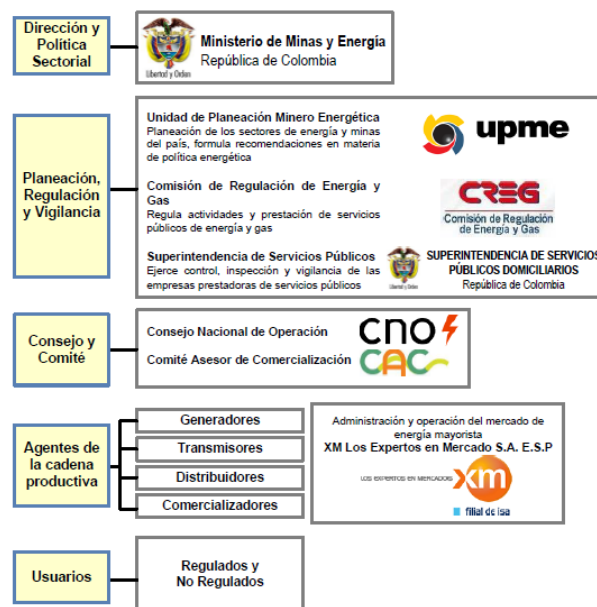


Ilustración 2. Estructura del sector eléctrico colombiano. Fuente: Análisis crítico de la Evaluación de Impacto Ambiental en el sector eléctrico colombiano y propuesta de mejora. Universidad Nacional de Colombia. Andrés Aldana Millán (2012).

Por regulación, el sector eléctrico en Colombia se divide en cuatro actividades separadas: generación, transmisión, distribución y comercialización.

Las principales compañías del sector son compañías controladas por el gobierno nacional, por gobiernos locales (departamentos y municipios) y por inversionistas privados (locales y extranjeros). Los centros de generación y las áreas de consumo están conectados a través de un solo sistema de interconexión nacional (SIN).

Enfoque económico

En materia de empleo, el sector eléctrico genera en promedio 30.000 empleos directos e indirectos en todo el país. De acuerdo con la encuesta anual manufacturera del DANE, para el

2012 la fabricación de maquinaria y equipos eléctricos representa aproximadamente el 1% de la producción manufacturera, y el 1,2 % del empleo generado en la industria (DANE, 2012).

En los últimos años, el sector de energía eléctrica ha presentado un crecimiento real en promedio del 2%, y su participación en los últimos cinco años en el PIB nacional ha girado en torno al 3%. Según el DANE, el sector eléctrico pasó de 2,9% en 2011, al 3,5% en 2012 y 2013, mostrando un crecimiento favorable respecto a otros sectores de la economía. Anexo tablas presentadas por el DANE (2011-2012-2013), en su página web.

Comportamiento del PIB por Ramas de Actividad Económica 2011 - 2012

Variación porcentual anual - Series desestacionalizadas

Ramas de actividad	2011	2012
Agropecuario, silvicultura, caza y pesca	2,4	2,6
Explotación de minas y canteras	14,4	5,9
Industria manufacturera	5,0	-0,7
Electricidad, gas de ciudad y agua	2,9	3,5
Construcción	10,0	3,6
Comercio, reparación, restaurantes y hoteles	6,0	4,1
Transporte, almacenamiento y comunicación	6,2	4,0
Establecimientos financieros, seguros, inmuebles y servicios a las empresas	7,0	5,5
Servicios sociales, comunales y personales	2,9	4,9
Subtotal valor agregado	6,3	3,9
Impuestos menos subvenciones sobre la producción e importaciones	10,9	4,7
PRODUCTO INTERNO BRUTO	6,6	4,0

Fuente: DANE - Dirección de Síntesis y Cuentas Nacionales

Ilustración 3. Comportamiento del PIB por ramas de actividad económica 2011-2012 (DANE, 2013)

Cuadro IX.1

PIB POR SECTORES DEL PRIMER SEMESTRE DE 2013

Rama de actividad económica	Participación (%)	Variación anual (%)	Contribución a la variación anual (p.p.)
Construcción	8.5	9.7	0.8
Servicios	15.6	4.5	0.7
Financiero	18.8	3.6	0.7
Comercio	11.3	3.5	0.4
Agricultura	5.9	6.2	0.4
Minería	10.9	3.3	0.4
Electricidad, gas y agua	3.5	4.0	0.1
Transporte y Comunicaciones	5.8	2.3	0.1
Industria	11.1	-1.6	-0.2
Otros (Impuestos)	8.6	3.1	0.3
PIB	100.0	3.4	3.4

Fuente: DANE. Cálculos Corficolombiana.

Ilustración 4. PIB por sectores del primer trimestre 2011-2012 (Corficolombiana, 2013)

Para promover la competencia entre generadores, se permite la participación de agentes económicos, públicos y privados, los cuales deberán estar integrados al sistema interconectado para poder participar en el mercado de energía mayorista. Como contraparte, comercializadores y grandes consumidores actúan celebrando contratos de energía eléctrica con los generadores. El precio de la electricidad en este mercado se establece de común acuerdo entre las partes contratantes, sin la intervención del Estado. Para brindar transparencia al mercado de electricidad, ha sido necesario separar claramente las actividades económicas propias del servicio.

Enfoque ambiental

Observando la estructura del sector eléctrico colombiano, se nota que para este no existe una autoridad ambiental específica, a pesar de ser un sector potencial, en continua evolución y expansión, fuerte a nivel internacional, que se presenta como una de las locomotoras del

desarrollo del país. Por esto, se hace necesario optimizar los temas ambientales, tales como los procedimientos de evaluación de impacto ambiental y los demás que influyan en el sector eléctrico.

De hecho, como se muestra en la Ilustración 5: Licencias ambientales 1993-2011, el sector eléctrico participa con solo el 4% de las licencias ambientales otorgadas. Esto refuerza la idea de que la evaluación del impacto ambiental del sector eléctrico no tiene condiciones especiales de aplicación con respecto a otros sectores (Rodríguez, G., 2011).

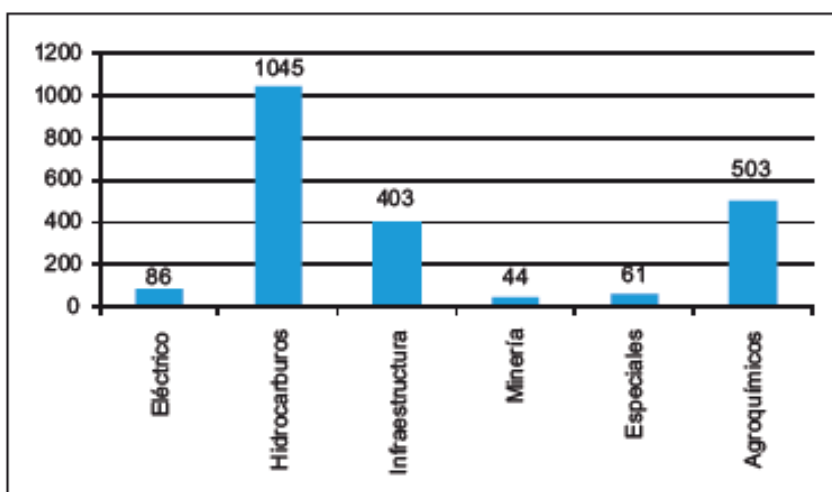


Ilustración 5. Licencias ambientales por sector (1993-2011) (Foro Nacional Ambiental –FNA, 2011)

Aunque respecto a temas ambientales ninguna entidad del sector eléctrico tiene responsabilidad directa, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) —que es una unidad administrativa especial de orden nacional, de carácter técnico, adscrita al Ministerio de Minas y Energía, que gestiona la información y apoya la formulación de la política pública sectorial— ha tenido iniciativas en este ámbito, como la presentación de un Plan de Expansión de Referencia de Generación-Transmisión (PERGT) 2013 – 2027 (Ministerio de Minas y Energía , 2013). Este

plan fue adoptado por el Ministerio de Minas y Energía el 26 de diciembre de 2013, y tiene como lineamiento el desarrollo de la generación y transmisión en los años siguientes, incrementando la capacidad instalada. Es un trabajo que se está realizando por fases, buscando un marco ambiental para el plan PERGT. Este marco se establece para incorporar la dimensión ambiental y social en la planeación estratégica que realiza la UPME, para la expansión del sistema eléctrico nacional, a través de la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE). En primera instancia, se diagnosticó la situación inicial para establecer la responsabilidad de los diferentes agentes y, posteriormente, estudiar los impactos de las actividades eléctricas. Este trabajo continúa actualmente, y su principal objetivo es la inclusión de los temas ambientales en forma más estructurada en la expansión del sector eléctrico.

Algunos proyectos del sector eléctrico ya se encuentran incluidos en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Este sistema provee una guía metodológica adecuada para la identificación y evaluación de los impactos ambientales significativos de las acciones y procesos.

Enfoque legal

El actual marco legal del sector eléctrico colombiano está fundamentado en la Ley 142 de 1994 (Ley de Servicios Públicos) y la Ley 143 de 1994 (Ley del Sector Energía Eléctrica) (CODENSA, 2012).

En 2001, se promulgó la Ley 697, que promueve el uso eficiente y racional de la energía y de las energías alternativas. Esta ley fue regulada mediante el Decreto 3683, emitido en 2003. La Ley y el Decreto contemplan aspectos importantes, tales como el estímulo a la educación y a la investigación en fuentes de energía renovable (CREG, 2011).

El sector eléctrico en Colombia tiene segmentos regulados y no regulados. El segmento regulado, que es directamente contratado y servido por compañías comercializadoras de energía, abarca usuarios industriales, comerciales y residenciales con demandas de energía inferiores a 0.1 MW. En este mercado, la estructura de tarifas es establecida por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). En el segmento no regulado, los consumidores con demandas de energía superiores a 0.1 MW pueden negociar y contratar libremente su suministro en el mercado mayorista (es decir, mercados *spot* y de contratos), directamente o por medio de compañías comercializadoras y distribuidoras (CREG, 2011).

El marco regulatorio del sector eléctrico clasifica las actividades que desarrollan los agentes para la prestación del servicio de electricidad en: generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica.

Teniendo en cuenta las características de cada una de las actividades o negocios, se estableció como lineamiento general para el desarrollo del marco regulatorio la creación e implementación de reglas que permitieran y propendieran por la libre competencia en los negocios de generación y comercialización de electricidad, en tanto que la directriz para los negocios de transmisión y distribución se orientó al tratamiento de dichas actividades como monopolios, buscando condiciones de competencia donde esta fuera posible.

Algunas entidades que conforman el sector energético son: Ministerio de Minas y Energía (MME), Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales (ASIC) Liquidador y Administrador de Cuentas (LAC), Centro Nacional de Despacho (CND) y Consejo Nacional de Operación (CNO).

La expedición de las Leyes 142 y 143 de 1994 permitió la conformación de un nuevo esquema para el sector eléctrico nacional. Dentro de los aspectos más importantes de estas dos leyes, tenemos: se permitió la participación del sector privado en la prestación de los servicios públicos, la división de la cadena de producción en segmentos (generación, transmisión, distribución y comercialización) y se diseñó un sistema de regulación con la creación de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG); además, identificó mecanismos para la defensa de la calidad y la confiabilidad del servicio, a través de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) (CODENSA, 2012).

Enfoque tecnológico

En este aspecto tecnológico dentro del sector eléctrico, el Ministerio de Minas y Energía, con la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), presentaron el Plan Energético Nacional 2006-2025, cuyo objetivo central es maximizar la contribución del sector energético al desarrollo sostenible del país, que incluya crecimiento económico, elevación de la calidad de vida y bienestar social (UPME, 2010).

Debido a la clara importancia del cambio tecnológico en el desarrollo de los sistemas energéticos, el otro objetivo central del Plan Energético consiste en fomentar cada vez más la introducción de tecnologías más eficientes y ambientalmente compatibles, tanto en el suministro como en el uso final de la energía. Con esto, se busca contribuir a la constitución de sistemas energéticos más productivos y a una utilización más eficaz de los recursos disponibles.

Una de las formas empleadas por los agentes para lograr esto es utilizar gas de bajo costo, para operar una estación generadora de energía eléctrica, y luego comercializarla. Con esta estrategia, se aprovechan las ventajas que presenta un producto sobre el otro, en una determinada zona. A

nivel nacional, el gas natural es un combustible que entra a competir con el carbón y la hidroelectricidad, en el mercado disputable de la generación eléctrica. Los precios relativos de estos energéticos y el costo de la tecnología determinan las decisiones de los agentes frente a cuál combustible utilizar para realizar la actividad de generación eléctrica.

Otros objetivos principales del Plan Energético Nacional son: asegurar la disponibilidad y el pleno abastecimiento de los recursos energéticos para atender la demanda nacional y garantizar la sostenibilidad del sector eléctrico en el largo plazo; consolidar la integración energética regional; consolidar los esquemas de competencia en el mercado; la formación de precios de mercado que aseguren competitividad; y maximizar cobertura con desarrollo local.

Adicional a este Plan Energético Nacional, también se está desarrollando en el campo tecnológico el Programa Nacional de Redes Inteligentes, propuesto por XM (Compañía de Expertos en Mercados S. A.), que coordina la operación de la cadena productiva del sector eléctrico colombiano; CIDET (Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico), entidad sin ánimo de lucro que desarrolla proyectos que mejoren la competitividad del sector; COCIER (Comité colombiano de la Comisión de Integración Energética Regional), organización no gubernamental sin fines de lucro, integrada por las empresas del sector eléctrico y por los organismos de los 10 países de América del Sur; CNO (Consejo Nacional de Operación del sector eléctrico), que regula la operación del sistema interconectado nacional); CAC (Comité Asesor de Comercialización del Sector energético) y CINTEL (Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones), quienes el 8 de abril de 2011 invitaron a las autoridades y empresas del sector eléctrico: UPME, CODENSA, EPM, Colinvertaciones, ISAGEN, EPSA, ISA, EEB, EEC,

entre otras, a la reunión de presentación de las iniciativas de Colombia Inteligente y del Proyecto Nacional de Redes Inteligentes en el Sector Eléctrico (UPME, 2010).

El Programa Nacional de Redes Inteligentes promueve el desarrollo de proyectos dentro del marco definido por Colombia Inteligente. Este programa tiene una estructura independiente, con esfuerzos encaminados inicialmente hacia objetivos concretos de corto plazo, pero alineados con las metas de largo plazo del marco estratégico. Se trata de una estrategia a nivel nacional e intersectorial.

El objetivo de la reunión consistió en presentar a las empresas invitadas las iniciativas formuladas por las entidades participantes, para buscar impulsar un sector eléctrico de talla mundial, con base en los conceptos de las redes inteligentes. Adicionalmente, se busca explorar conjuntamente los aspectos prioritarios de enfoque del proyecto que puedan llevar a obtener mayores beneficios a las empresas del sector y definir el marco de participación más adecuado para el desarrollo de la iniciativa (UPME, 2010).

Se concluye que la participación activa de todos los actores identificados en el desarrollo de esta iniciativa es el camino para llegar a la convergencia de las redes inteligentes en el país, con beneficios para toda la sociedad; así mismo, se resaltan las manifestaciones de apoyo ofrecidas por las empresas, en su interés de participar en esta iniciativa.

Enfoque social

Por ley, todas las áreas urbanas en Colombia están clasificadas de uno a seis en la escala socioeconómica, clasificación que se utiliza para determinar el nivel de tarifas para electricidad, agua y otros servicios. De acuerdo con este sistema, los consumidores que viven en áreas consideradas pobres —y los consumidores que utilizan bajas cantidades de electricidad—

reciben servicio eléctrico y de gas natural a tarifas subsidiadas. Estos subsidios cruzados son financiados casi por completo (aproximadamente 98%) por los consumidores que viven en áreas consideradas como relativamente afluentes y por quienes usan más electricidad. Los subsidios cruzados cubren alrededor del 25% de la factura eléctrica y de gas de consumidores de bajos ingresos. Los subsidios son, asimismo, otorgados para proveer diesel para la producción de energía en zonas no conectadas a la red. Este sistema de estratificación de subsidio en Colombia ha demostrado ser relativamente inefectivo en la canalización de subsidios a los pobres. Aunque el esquema es amplio en su cobertura, y no excluye a más del 2% de los pobres en servicios con amplia cobertura como electricidad, agua y saneamiento, el subsidio no está adecuadamente restringido. Alrededor del 50% al 60% de los beneficiarios de subsidios son de la mitad alta de la distribución de ingresos; es más, solamente entre el 30% y el 35% de los recursos de subsidios son capturados por los pobres. No obstante, el desempeño de este esquema de subsidios varía dependiendo del servicio considerado, siendo el agua y la telefonía los sectores con el peor y mejor desempeño, respectivamente.

1.4.1.2 Subsector material eléctrico

Unido a las dinámicas de generación, distribución y comercialización de energía, está el subsector de material eléctrico, que es considerado de gran importancia en Colombia, ya que partir de este, se encadenan otros mercados propios para la distribución de electricidad, la iluminación y todos los artefactos involucrados en la electricidad como soportes para múltiples procesos industriales de diferentes cadenas productivas.

Algunos de los productos más representativos en esta actividad manufacturera son: cables y alambres aislados para instalaciones eléctricas y telefónicas, artefactos para iluminación,

interruptores, enchufes, transformadores, plantas generadoras, tableros y cajas para contador, entre otros.

1.4.1.3 Clasificación CIIU

De acuerdo con la nueva clasificación de CIIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme) emitida por la DIAN (2014), INDELPA S. A. pertenece al código 3120: “Fabricación de aparatos de distribución y control de la energía eléctrica”.

1.4.1.4 Problemas e impactos

Efectos del sector económico en que está ubicado el proyecto, sobre el proyecto

Los altos costos de implementación de energías renovables y limpias, como es el caso de la energía solar, pueden causar impacto desfavorable sobre la ejecución de este tipo de proyectos, en otras plantas metalmecánicas como INDELPA S. A.

Efecto del proyecto sobre el desarrollo futuro y las perspectivas del sector

En perspectiva, en los próximos años el sector eléctrico colombiano mostrará una dinámica consistente y potente en el mercado nacional e internacional, tanto respecto a energía eléctrica como en bienes y servicios conexos, todo lo cual se evidencia con los proyectos próximos a entrar en operación y con los que serán desarrollados hasta el año 2019. El sector ha definido como un propósito superior la internacionalización de su cadena completa, de manera integrada y armónica.

El Plan Energético Nacional (PEN) 2006-2025 del Ministerio de Minas y Energía, basado en las directrices del Plan Visión Colombia, busca posicionar al País como un gran “Clúster

Regional Energético” que garantice el abastecimiento en el largo plazo, con reglas claras de juego en lo que respecta a la construcción de las señales de precios, así como la implementación de energías renovables y limpias, tal como la que propone este proyecto. El Plan Energético Nacional no solo busca el posicionamiento como importante proveedor regional de energía eléctrica, sino también de los bienes y servicios conexos, ya que un sector jalona al otro (UPME, 2010).

Las metas de crecimiento entre 2009 y 2020, del PIB del sector, oscilan entre el 4,5% y el 6,5%, de manera sostenida. Para 2020, el sector deberá representar al menos el 5% del PIB nacional (a 2007 dicho porcentaje se acercaba al 2,5%). Las exportaciones tanto de energía eléctrica como de bienes y servicios conexos deben ascender a US\$2.000 millones en 2020, lo cual, en el caso de la energía, podrá concretarse a partir de las interconexiones con Suramérica, Panamá, Centroamérica y el Caribe, así como el aumento consistente en la exportación de bienes y servicios conexos derivados de esta expansión y de la incursión directa, ya sea en estos mercados o en otros con crecimiento de la demanda. En cuanto a empleo formal, a 2020 este deberá crecer de 130.000 a 210.000 nuevos puestos de trabajo formales, entre directos e indirectos, siendo necesario insistir en que más del 80% de tales plazas se exigen con importantes niveles de capacitación.

Como consecuencia de los altos costos de la energía producida en los países de Centroamérica, los países integrantes desarrollaron un proyecto de integración: Propuesta de Valor Sector Eléctrico, conocido como el SIEPAC, con el cual se pretende mejorar la confiabilidad de su sistema, así como aminorar los costos incurridos en la generación de energía.

Esta es, sin duda, una de las razones por las cuales el gobierno de Panamá y el de Colombia acordaron desarrollar una interconexión eléctrica a 300 MW, con la posibilidad de ampliar a 600 MW en 2015 (UPME, 2010).

1.4.2 Estudio de mercado

1.4.2.1 Oferta

Este estudio se orientará hacia la oferta que existe en el mercado, para el suministro de la solución al proyecto para INDELPA S. A., y no es un objetivo comercializarlo.

En el mercado se encuentran varios tipos de calentadores solares, los cuales han evolucionado hasta tener tres clases de diseño dominante para calentamiento de agua: 1) los colectores solares de placa plana, 2) los colectores solares de tubos al vacío de alta eficiencia y 3) los colectores solares de concentración. Los tres se caracterizan por tener un tanque térmico, colocado en la parte superior, y un soporte metálico donde se monta dicho tanque y se coloca el colector, en un ángulo que va de 10° a 30° respecto a la horizontal, para aprovechar al máximo la radiación solar y obtener la mayor eficiencia térmica.

Como describen Vásquez et ál. (2008), para los tres tipos de tecnología el tanque térmico es de forma cilíndrica (aunque se han detectado tanques con otras formas, como cuadrada o poligonal, siendo pocos los casos), y consiste básicamente de: un depósito interno para contener el agua,

hecho de acero inoxidable u otro material resistente a la corrosión y(u) oxidación; una cubierta aislante de un material térmico, poliuretano por ejemplo, con un grosor de 30 a 40 mm; y una cubierta exterior de acabado reflejante o claro, para evitar la absorción del calor. En su interior, se sitúa opcionalmente un ánodo de magnesio que absorbe la corrosión, para evitar que otras partes sufran de este fenómeno.

1.4.2.2 Producto

Características técnicas de los calentadores solares que ofrece el mercado (Vásquez et ál., 2008).

Colector solar plano

Los colectores planos están diseñados para el calentamiento de agua a temperaturas menores a 80 °C, y se basan principalmente en el llamado efecto invernadero” (Vázquez, 2008). Están compuestos esencialmente por una cubierta de vidrio, una placa captadora aislada térmicamente en la parte inferior y están lateralmente contenidos en una caja de metal o plástico. El agua almacenada en el tanque térmico circula por un circuito colector de calor, que está hecho de un material altamente conductor como el cobre.

Estos tubos pueden estar conectados entre sí (formando un serpentín único y continuo), o bien conectarse de manera independiente al tanque.

Opcionalmente, es posible añadir aletas en los laterales de los tubos para ampliar el área de captación y absorción de calor. Estas aletas son pequeñas lengüetas planas adheridas de manera longitudinal, generalmente de un material metálico.

Para su funcionamiento, los rayos del sol inciden directamente sobre la cubierta transparente hecha de vidrio templado u otro material transparente resistente a la radiación solar, la cual deja pasar una parte de la radiación, y reflejando otra parte de la misma. La porción que atraviesa la cubierta es absorbida casi en su totalidad por la placa absorbidora metálica plana, que, a su vez, transmite el calor al circuito colector. El calor que logra escapar a la absorción es atrapado entre la placa y la cubierta, por lo cual se recomienda que esta última tenga un alto coeficiente de reflexión para radiaciones de longitudes de onda larga y baja conductividad térmica, que impida el paso del calor hacia la cara exterior de la misma. El calor transmitido al circuito colector eleva la temperatura del agua que circula por dicho circuito. Finalmente, el aislamiento térmico debajo de la placa de absorción, hecho de poliuretano o poliestireno, impide la pérdida de calor hacia el gabinete o marco estructural que, a su vez, protege el ensamble y porta rigidez. El sello de la cubierta impide el paso del aire o de agua entre las uniones de las diferentes partes.

Colector solar de tubos al vacío de alta eficiencia

La tecnología de tubos de vacío, que en la actualidad es la más eficaz de las empleadas en los colectores solares térmicos, durante un tiempo fue un sistema muy caro y de difícil acceso. Sin embargo, este sistema comienza a hacerse cada vez más accesible para algunas aplicaciones, como lo demuestra la proliferación de sistemas compactos de agua caliente por termosifón, con tubos de vacío, que en los últimos años han invadido los mercados. La mejora que aportan los colectores de tubos de vacío consiste en evitar las pérdidas por conducción (transmisión de calor que se produce entre dos cuerpos a distinta temperatura, que están en contacto físico directo) y convección (tipo de transmisión de calor que solo se da entre los fluidos, que se produce porque, al elevarse la temperatura de un fluido, este pierde densidad y asciende sobre el medio más frío y denso, transfiriendo a este último su calor). Estos colectores están proyectados para reducir las

dispersiones de calor hacia el exterior. El calor captado por cada elemento (tubo de vacío) es transferido a la placa, generalmente de cobre, que está dentro del tubo. De esta manera, el líquido portador del calor se calienta y, gracias al vacío, se reduce al mínimo la dispersión de calor hacia el exterior.

En su interior la presión del aire es muy reducida, de forma que impide la cesión de calor por conducción. En la fase de montaje, el aire entre el absorbedor y el vidrio de la cubierta es aspirado, y hay que asegurar una hermeticidad perfecta y perdurable en el tiempo.

Este sistema opera por termosifón, es decir que la circulación del calor pasa de los captadores al depósito de almacenamiento naturalmente sin bombas ni otros dispositivos, gracias a la diferencia de temperaturas; si el circuito hidráulico se concibe con las condiciones normales, el agua calentada en los captadores circulará a través de un intercambiador en el depósito y la temperatura del agua en el depósito aumentará progresivamente (Burbano, 2006).

Los tubos al vacío de alta eficiencia, o tubos evacuados, son capaces de calentar el agua a temperaturas mayores a 100 °C. Los tubos evacuados son básicamente dos tubos concéntricos de vidrio borosilicato (que tiene buenas propiedades ópticas, pero baja dilatación al calor), entre los cuales existe un vacío para evitar que el calor escape por la conducción y convección térmica. El tubo interior, en la parte exterior está cubierto de un material absorbente, que puede ser preferentemente nitrato de aluminio $[Al(NO_3)_3]$, el cual tiene la propiedad de absorber el calor. En la punta de los tubos se puede colocar opcionalmente un elemento de bario con brillo plateado, que tiene la propiedad de tornarse grisáceo cuando entra en contacto con el aire (es decir, cuando se pierde el vacío), y un soporte flexible para estabilizar el tubo interior.

Generalmente, el diámetro del tubo exterior de vidrio oscila entre 40 mm y 65 mm, el diámetro del tubo interior va de 30 mm a 54 mm, el espesor de ambos varía entre 1,45 mm y 1,95 mm, y las longitudes detectadas van de 1,500 mm a 2,000 mm. En cuanto a las propiedades térmicas, el coeficiente de absorción va de 0,93 a 0,97, el de reflexión, de 0,03 a 0,07, y el de pérdida de calor, $0,6 \text{ w/m}^2$ (máximo). La transmitancia, por su parte, es de alrededor de $0,91 \text{ W/m}^2\text{K}$ (vatios por metro cuadrado y grados Kelvin). El vacío dentro de los tubos tiene un valor máximo aproximado de 5×10^{-3} pascales, y resisten caídas de granizo de un diámetro máximo aproximado de 25 mm. Su coeficiente de expansión térmica se encuentra en alrededor de $3,3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ (Meinel, 1982).

Colector solar de concentración

Los colectores solares de concentración son cóncavos, y están proyectados así para optimizar la concentración de la energía solar en un punto bien determinado. El fluido se calienta a altas temperaturas, mediante espejos parabólicos. Son eficaces solo con luz solar directa, ya que se basan en el principio de concentración térmica, y tienen que seguir el movimiento del sol. Dicho fenómeno describe cómo su superficie reflejante curva hace incidir todos los rayos solares que caen en dicha superficie hacia un solo punto focal, o foco, donde se concentra la energía térmica.

Este modelo de colector, que puede alcanzar altas temperaturas, es una elección lógica para generadores solares o para hornos de altísimas temperaturas (más de $4.000 ^\circ\text{C}$). Sin embargo, el costo y la instalación del equipo de seguimiento del Sol, así como su construcción, determinan que este modelo sea poco práctico (Meinel, 1982).

1.4.3 Estudio técnico

Con el estudio de viabilidad que se realiza para la empresa INDELPA S. A. se busca plantear una alternativa de energía para efectuar el proceso de calentamiento de agua necesario en el tratamiento químico de superficies metálicas.

Para el caso en estudio, se presenta un comparativo entre los tipos de colectores existentes (Tabla 1):

Tabla 1. Comparativo entre: colector solar plano, colector solar de tubos al vacío de alta eficiencia y colector solar de concentración (Meinel, 1982)

Tipo	Ventajas	Desventajas
Colector solar plano	Soporta alta gama de presiones de operación. Mayor vida útil: hasta 30 años en promedio. De uso en ambientes agresivos. Mantenimiento mínimo. Flexible. Sin riesgo de choque térmico.	Mayor peso. El fluido circula por el colector, siendo más propenso a la corrosión interna y a las incrustaciones, lo cual afecta su rendimiento y durabilidad. Este fluido puede llegar a congelarse y deteriorar el colector, que deberá ser sustituido. Tiene peor arranque de inercia, debido a que tiene que calentar previamente el fluido que contiene. Revisión y cambio periódico de cubierta. Alcanza muy bajas temperaturas (aprox. hasta 70 °C).
Colector solar de tubos al vacío de alta eficiencia	Gran eficiencia energética. Mayor captación de la irradiación solar. Mayor temperatura en el colector, mínima pérdida de calor. Aumento aproximado del 35% del rendimiento del colector, con respecto a los colectores convencionales planos. Alcanza temperaturas entre 80 °C y 100 °C. Opera a alta presión. El vacío protege el colector de la corrosión y no presenta condensaciones. Esto le hace duradero y fiable, con mantenimientos mínimos.	Pérdida del vacío. Desgaste de los conectores entre tubos y tanque.

Colector solar de concentración	Alcanza temperaturas superiores a los 400 °C; pero, usando en el foco un flujo radioactivo, se pueden obtener temperaturas superiores a los 1500 °C. Opera a alta presión. Conexión directa al tanque. Puede usarse en aplicaciones térmicas, al igual que en generación de energía eléctrica.	Solo utilizan la radiación directa, y no la difusa. Es necesario implementar un sistema de seguimiento solar con los colectores. El reflectante del colector puede perder sus propiedades con el tiempo y requiere mantenimiento periódica.
---------------------------------	--	--

De acuerdo con este análisis, se puede determinar que, para el proyecto en estudio, es más conveniente utilizar un colector de tubos al vacío de alta eficiencia operado por termosifón.

Evaluación de las necesidades de agua caliente

El primer paso en el diseño de un sistema de calentamiento de agua es la identificación de las necesidades concretas, a fin de dimensionar adecuadamente cada uno de los elementos componentes. Para el caso desarrollado en este trabajo, se tomó como objetivo diseñar un sistema de aprovechamiento de la energía solar, para alcanzar temperaturas entre 45° C y 60 °C. Las dimensiones de los tanques de operación son de 3067 mm x 1207 mm x 1600 mm (ver figura 1 adjunta), que corresponde aproximadamente a un volumen de 6000 litros de agua. Dentro del proceso que, como se explicó anteriormente, consta de cinco pasos, que son: desengrase (55 °C a 60 °C), enjuague, activador, fosfato (45 °C a 50 °C) y enjuague final. Cada paso equivale a un tanque de 6000 litros de agua, de los cuales dos: el desengrase y el fosfato, requieren temperatura. Es decir, se requiere calentar 12.000 litros de agua al día.

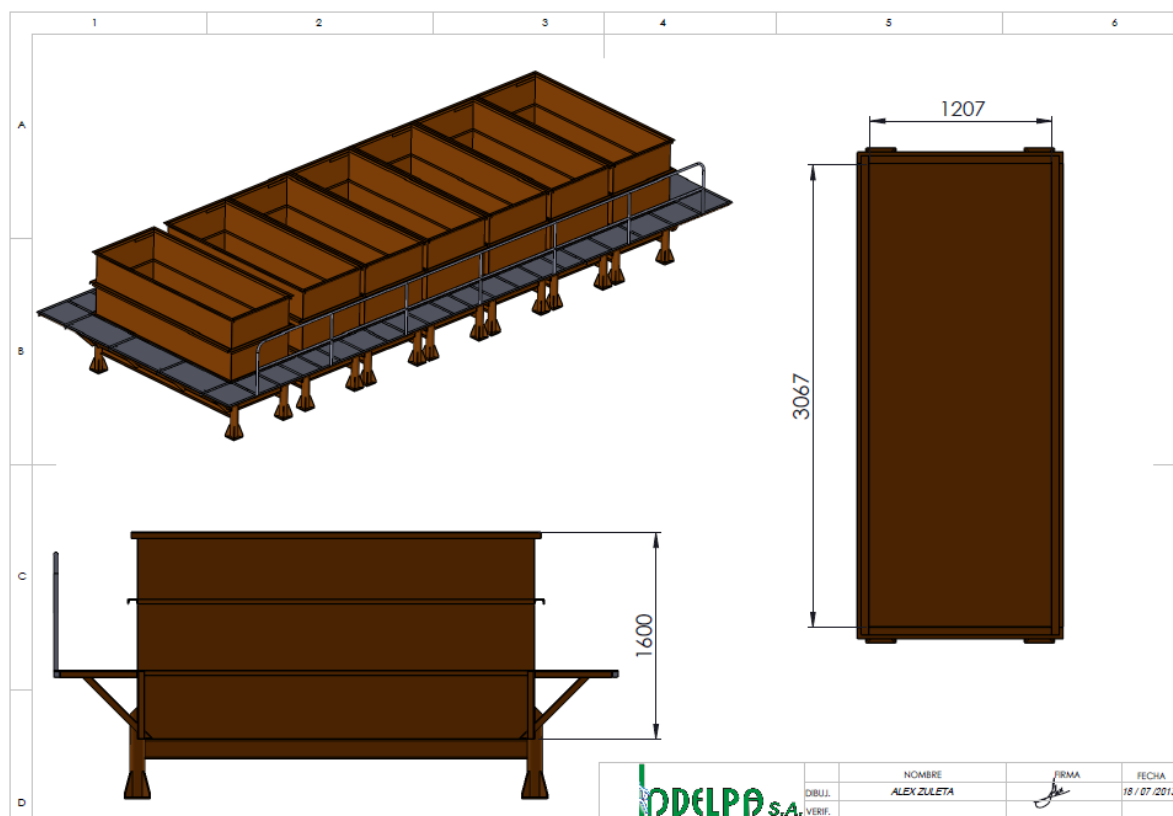


Ilustración 6. Dimensiones de tanques de proceso de tratamiento químico en INDELPA S. A.

Ciclo solar de la región

Para el diseño del sistema de aprovechamiento de energía solar es determinante conocer el ciclo solar en la región donde se pretende realizar la instalación del sistema.

La región de mayor radiación solar en el país es la península de La Guajira, y sus valores máximos se presentan en el mes de julio, con promedios superiores a $10,53 \text{ kWh/m}^2$ día. Este valor descende gradualmente hasta diciembre, mes en que se presenta el valor mínimo de $8,91 \text{ kWh/m}^2$ día.

Con el mismo comportamiento durante el año, le siguen: la parte media del valle geográfico del río Cauca, el valle del río Magdalena hasta la costa Atlántica y la zona de Cúcuta. Los

valores extremos se presentan en julio y diciembre, con valores de 8,91 y 7,29 kWh/m² día, respectivamente. En la Amazonía, por el contrario, el valor máximo se presenta en octubre, con 5,35 kWh/m² día. En la región Andina, sobresale el altiplano cundiboyacense, con valores máximos en febrero, en los niveles de 7,77 kWh/m² día, que luego descienden gradualmente hasta junio, mes de mínimos, con 6,80 kWh/m² día. Nuevamente se incrementan poco a poco hasta septiembre, para descender hasta noviembre. El resto de la región Andina presenta el mismo comportamiento durante el año, con menores valores, con extremos de 6,48 y 5,18 kWh/m² día para febrero y junio. Las zonas con niveles más bajos de radiación son la costa del Pacífico y el piedemonte Llanero en el área circundante de Villavicencio, con promedios menores de 4,86 kWh/m² día. Durante el año presentan poca variabilidad, siendo los meses de marzo y abril los de mayor radiación, mientras que noviembre y diciembre se caracterizan por ser los meses de menor radiación, con valores extremos de 5,18 y 4,53 kWh/m² día.

Según el Atlas de Radiación Solar de Colombia (Rodríguez y González, 1994), estas mediciones se realizan en Colombia de forma directa en 71 estaciones sobre el territorio nacional, complementadas con 383 estaciones meteorológicas donde se realizan medidas rutinarias de brillo solar, y 96 estaciones donde se realizan mediciones de humedad relativa y temperatura, variables que fueron correlacionadas con la intensidad radiante sobre la superficie. El Atlas ofrece los mapas sobre radiación solar global, brillo solar, radiación solar UV, ozono e índices UV1. En el caso de la radiación solar global, corresponde a la interpolación de información recolectada y estimada de 550 estaciones meteorológicas, y en el caso del brillo, a 479 estaciones. Para el caso de la región urbana de la ciudad de Dosquebradas, se tiene un índice de radiación solar I entre 4,0 y 4,5 KW/m² día.

Localización

El proyecto se ubicará, en las instalaciones de la empresa INDELPA S.A., con dirección domicilio en carrera 16 No. 8 -138, en Dosquebradas, Risaralda. En la planta de producción, en la sección Tratamiento Químico de Superficies.

Ingeniería del proyecto

El colector de tubos al vacío de alta eficiencia operado por termosifón se fabrica bajo pedido, de acuerdo con las dimensiones que se requieran para cada solución específica, en cuanto a volúmenes de agua para calentar y temperaturas requeridas de proceso. Constituye un proyecto desarrollado para el cumplimiento de unos objetivos puntuales para cada caso, que no permite su fabricación en serie totalmente, aunque los principios de construcción en cuanto a los elementos que lo integran son iguales.

Este proyecto es intensivo en capital, ya que los costos de esta instalación son relativamente altos y el tiempo de retorno de la inversión oscila alrededor de los 6 años.

Balances

Equipos	Procesos y personal	Insumos	Obras físicas
Sistema de calentamiento solar de agua de tubos de vacío de alta eficiencia operado por termosifón (gravedad) para 2 tanques de 6000 litros. Capacidad total 12.000 litros diarios de agua caliente. Captadores solares, válvulas y accesorios.	Se requiere un personal integrado por un ingeniero de producción, un ingeniero mecánico, personal de obra civil, personal administrativo y personal operativo, que cuenten con conocimientos del proceso.	Material de obra civil (vigas de acero, ángulos, soldadura, equipo de pulir). Elementos de medición.	Se requiere reforzar la estructura del techo de la sección de tratamiento químico que soportará los paneles y colectores, así como los tanques de termosifón.

1.4.4 Estudio organizacional

INDELPA S. A. cuenta con una estructura organizacional definida, con los perfiles de cargos y manual de funciones establecidos.

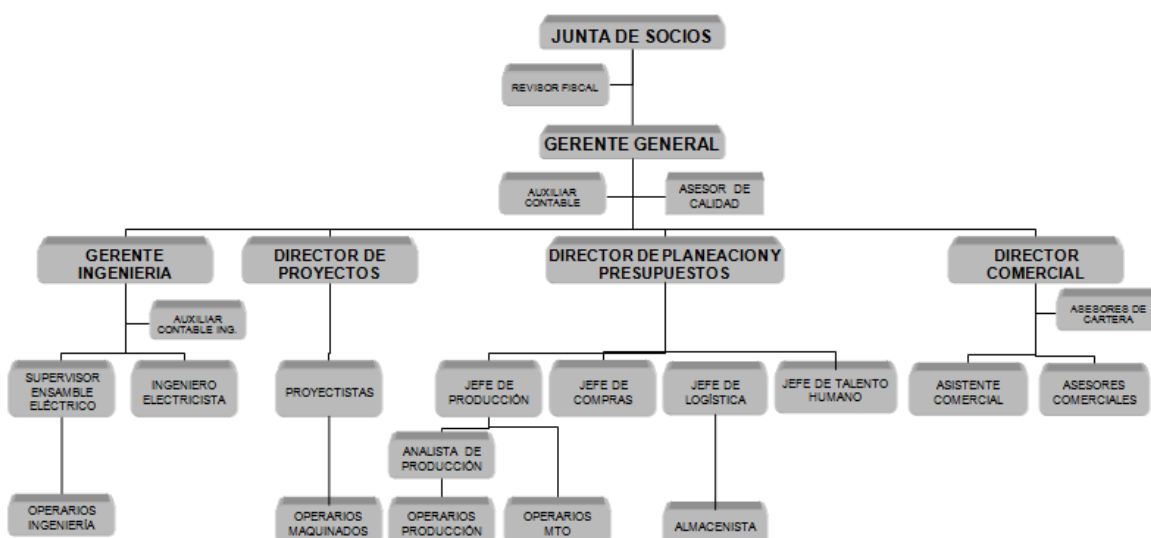


Ilustración 7. Organigrama INDELPA S. A.

El organigrama refleja una estructura jerárquica, encabezada por la junta directiva y la gerencia; hacia abajo, los cargos administrativos líderes de proceso están divididos en: área técnica, área comercial y, por último, se encuentra el personal operativo.

Las funciones por proceso son:

Producción

Fabricación de productos metalmecánicos para el sector eléctrico, de acuerdo con unos estándares definidos para cada referencia, planos de fabricación, especificaciones técnicas y requisitos del cliente, así como cumplimiento de normas técnicas de productos del sector

eléctrico (RETIE y RETILAP). Todo esto, bajo un ámbito de proceso certificado con la Norma ISO 9001 - 2008.

El mantenimiento preventivo se realiza de acuerdo con un programa definido, que incluye fechas y actividades, así como también el mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones, en las principales máquinas del proceso.

Las materias primas se adquieren a proveedores seleccionados, que cumplen con los requisitos y especificaciones de producto. La compra se efectúa en cantidades, de acuerdo con el plan de producción.

A todo el personal se le suministra inducción en seguridad industrial, según las indicaciones y recomendaciones de la ARL.

Financiera

Esta función está a cargo de la gerencia, quien toma todas las decisiones en materia de inversiones, fuentes de financiamiento y presupuestos; la parte operativa es realizada por los siguientes cargos: Auxiliar Contable, Tesorería, Contador y Revisor Fiscal.

Recursos humanos

Este proceso se encarga de las afiliaciones de todo el personal al sistema de salud y de riesgos laborales, así como de las liquidaciones de nómina y los pagos parafiscales. En la empresa no se encuentra muy desarrollado este proceso, no se generan incentivos, ni planes de salarios flexibles o bonificaciones; tampoco se tienen implementados programas de bienestar social.

Mercadeo

INDELPA S. A. cuenta con un grupo de asesores comerciales, que desempeñan la función de visita a los clientes y la promoción de los productos para la venta. Los precios se establecen con un criterio de costos y un porcentaje de rentabilidad sobre estos, que incluyen costos directos e indirectos de fabricación. La estrategia de ventas está articulada a través de distribuidores, quienes a su vez venden el producto a constructores y a consumidores finales. Los despachos se realizan con empresas transportadoras de carga para todo el país, y la compañía cuenta con pólizas de seguro que cubren todos los despachos de producto.

El servicio al cliente es ofrecido directamente por los asesores comerciales y por la asistente comercial interna; el servicio postventa, o garantía, se suministra en caso de presentarse, o alguna falla de calidad del producto, o errores en los despachos.

Para el desarrollo del proyecto no es necesario cambiar el organigrama que posee actualmente INDELPA S. A. Las funciones derivadas del proyecto serán realizadas por el mismo personal administrativo que tiene a cargo responsabilidades similares.

1.4.5 Estudio legal

Organización jurídica

INDELPA S. A. es una sociedad anónima, constituida desde el año 2000, con Certificado de Existencia y Representación Legal en la Cámara de Comercio de Dosquebradas.

Para el desarrollo del proyecto “Estudio de viabilidad de la implementación de un sistema de energía solar térmica en INDELPA S. A., para calentamiento de agua en el tratamiento químico de superficies” no se requiere ninguna constitución de empresa adicional, ya que en caso de

resultar viable técnica y económicamente este estudio, la empresa INDELPA S. A. lo puede realizar directamente.

Normatividad

Lo que se debe tener en cuenta para el estudio es la normatividad vigente que regula este tipo de proyectos, tales como las Normas NTC 1736, NTC 2774, NTC 3322, NTC 3507, NTC 5291, NTC 5434 y NTC 4368, que son aplicables a sistemas térmicos de energía solar para calentamiento de agua; existen otras normas adicionales que son aplicables a sistemas con energía solar fotovoltaica, que no son el objeto de este estudio.

El ICONTEC ha publicado un número relativamente amplio de normas sobre energía solar, la mayor parte de ellas enfocadas en procedimientos para realizar ensayos en estos sistemas. Una buena parte de las normas sobre colectores solares fue publicada a comienzos de los 90, mientras que las normas sobre sistemas fotovoltaicos comenzaron a publicarse en 2005 (CIDET, 2013). Dichas normas se presentan a continuación.

NTC 1736. ENERGÍA SOLAR. DEFINICIONES Y NOMENCLATURA (24/8/2005): Esta norma define la nomenclatura para variables de radiación solar, parámetros meteorológicos y parámetros de orientación y localización superficial. La norma lista las definiciones de conceptos generales (absorción, emitancia, reflectancia, etc.), conceptos de radiación y ángulos (afelio, ángulo de hora solar, declinación solar, flujo radiante, etc.) y medición de la radiación (anillo de sombra, fotómetro, haliómetro, pirgeómetro, etc.). También incluye una clasificación de los colectores solares, de sus tipos de instalaciones, así como definiciones y gráficas de sus principales componentes. Esta norma se centra pues en los colectores solares, empleados para

obtener energía térmica a partir de la energía solar, y no menciona nada específico de módulo fotovoltaicos (ICONTEC, 2014).

NTC 2774. EVALUACIÓN DE MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS EMPLEADOS EN COLECTORES SOLARES (3/10/1990): Esta norma establece una metodología de ensayo para evaluar algunas propiedades de los materiales aislantes térmicos empleados en colectores solares con razones de concentración menores que 10. Las propiedades en cuestión son: pH, características de ignición de la superficie, absorción de humedad, absorción de agua, resistencia térmica, contracción o dilatación lineal, rendimiento con la superficie caliente y envejecimiento acelerado. Solo se describe el procedimiento para realizar la prueba de pH; para las pruebas restantes, se establece que dichos procedimientos deben llevarse a cabo teniendo en cuenta las normas ASTM, a saber:

Ignición de superficie: ASTM E84. Absorción de humedad: ASTM C553. Absorción de agua: ASTM C209 y ASTM D2842. Resistencia térmica: ASTM C518, ASTM C177 y ASTM C687. Contracción lineal: ASTM C356. Rendimiento con superficie caliente: ASTM C411.

NTC 3322. SELLOS DE CAUCHO USADOS EN COLECTORES SOLARES DE PLACA PLANA (19/9/1992): Esta norma especifica los requisitos generales que deben cumplir los sellos de caucho empleados en colectores solares de placa plana, a excepción de los colectores pasivos instalados verticalmente. La norma inicia con una clasificación de los sellos de caucho según su tipo, grado de dureza o clase. Seguidamente se listan una serie de requisitos que deben cumplir estos sellos, requisitos que están contenidos en las normas ASMT D412, D395, D1229, D1415, D2240, D865, D661, D1149, D719 y D2137. Más adelante se hacen anotaciones sobre las dimensiones de los sellos (que no deben deformarse en más de un 25%) y se establecen los

métodos de ensayo para cada material, según las normas ASTM D3183, D3182, C719 y D865 (ICONTEC, 2014).

NTC 3507. INSTALACIÓN DE SISTEMAS DOMÉSTICOS DE AGUA CALIENTE QUE FUNCIONAN CON ENERGÍA SOLAR (17/3/1993): Esta norma establece los requisitos mínimos que se deben cumplir para la instalación de sistemas de calentamiento de agua que funcionan con energía solar, aplicables a sistemas domésticos autónomos, para el suministro de agua caliente en edificios residenciales. La norma comienza por establecer que un sistema fotocolelector aceptable debe cumplir con lo establecido en la norma NTC 2631. Seguidamente, la norma establece los criterios de responsabilidad para quien instale estos sistemas, los permisos necesarios, el acceso para mantenimiento, el alambrado eléctrico (según la norma NTC 2050), el equipo auxiliar y las características estructurales. Más adelante, se describen los requisitos para el montaje de cada uno de los componentes del sistema, como el colector solar, los tanques de almacenamiento, la tubería, el aislamiento, los mandos y los dispositivos de seguridad. La norma constituye, pues, una completa guía para la instalación de sistemas calentadores de agua a partir de energía solar.

NTC 5291. SISTEMAS DE CALENTAMIENTO SOLAR DOMÉSTICO DE AGUA (TRANSFERENCIA DE CALOR DE UN LÍQUIDO A OTRO): Esta norma, que trata sobre el desempeño, durabilidad y seguridad de los sistemas integrados de calentamiento solar doméstico de agua, diseñados para uso en edificaciones pequeñas, fue rectificada el 29 de septiembre de 2004 (ICONTEC, 2014).

NTC 5434, PARTES 1 Y 2. COLECTORES SOLARES (14/9/2011): Esta norma especifica los requisitos de durabilidad (incluyendo resistencia mecánica), confiabilidad y seguridad de los

colectores solares, para calentamiento de líquidos. Además, incluye las disposiciones para la evaluación de conformidad de dichos requisitos (ICONTEC, 2014).

NTC 4368. EFICIENCIA ENERGÉTICA. SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR Y COMPONENTES (17/12/1997): La norma mencionada anteriormente define no solo algunos métodos de evaluación de la eficiencia térmica de los sistemas solares térmicos, sino también los requisitos o características que deben tener los colectores de placas planas, empleados para calentar el agua. También contiene algunas clasificaciones para los sistemas solares de calentamiento de agua, los cuales pueden ser: de acuerdo con el uso de energía auxiliar (sistema solar dedicado, sistema de precalentamiento solar y sistema solar con energía suplementaria); de acuerdo con la relación entre sus componentes (sistemas integrados tanque-colector, sistema termosifón y sistema de circulación forzada) (ICONTEC, 2014). Por otra parte, se presentan algunos ensayos y medidas utilizados en el método de la evaluación de la eficiencia térmica, como son: medición de radiación solar, medida de temperaturas, medida de presión, sistemas de registro de datos, ensayo de presión, ensayo para determinar las pérdidas de calor y ensayo de choque térmico, entre otras (CIDET, 2013).

Contratos

El personal administrativo contratado por INDELPA S. A. se encuentra bajo la modalidad contrato a término indefinido, y el personal operativo se encuentra con contrato a término fijo por un año, renovable. Este tipo de contratos no cambiarían con el desarrollo de este proyecto.

1.4.6 Evaluación financiera

De acuerdo con el estudio técnico, se seleccionó el colector solar de tubos al vacío de alta eficiencia operado por termosifón, con tanque de almacenamiento para agua caliente con aislamiento.

Se solicitó cotización a algunos proveedores del mercado, y se obtuvo un precio de ciento cuarenta millones de pesos (\$140.000.000) para la instalación. Este precio incluye el sistema de calentamiento de agua con energía solar a través de tubos concéntricos al vacío, operado por termosifón, tanques termo aislados, válvulas y accesorios, instalación y puesta en funcionamiento.

Los recursos para el desarrollo del proyecto se pueden obtener a través de herramientas financieras como leasing bancario o créditos de libre inversión, o empleando instrumentos con entidades como Colciencias, Innpulsa MiPyme y Bancoldex, entre otras, que entregan recursos gubernamentales no reembolsables para la cofinanciación de estos proyectos, a través de convocatorias de proyectos de innovación o que involucren energías renovables. Para el caso en estudio, se supone un crédito con tasa de interés de $DTF + 10\% \text{ spread}^1$.

La implementación de este tipo de tecnologías —sistemas solares de alta eficiencia— permite que la empresa genere ahorros sustanciales en gastos de energía; además, que obtenga exenciones tributarias al instrumentar proyectos de energías renovables.

El método utilizado para realizar el análisis financiero fue el de la evaluación del flujo de caja del proyecto, y, a partir sus resultados, se determinó el valor presente neto del proyecto (VPN).

¹ Un *spread* es la diferencia entre dos tasas de interés: la del banco y la del riesgo país. Esta tasa fue la que se usó en el flujo de caja del presente estudio.

Según Gómez y Díez: “Este es el método más comúnmente usado para la evaluación de proyectos, mide la rentabilidad deseada después de recuperar toda la inversión; se adopta como criterio fundamental para la toma de decisiones en el contexto financiero, dado que dicho criterio obedece al objetivo general de maximizar las utilidad del proyecto” (Gómez y Díez, 2011).

También se realizó la comparación de la tasa interna de retorno (TIR). Esta se define como la tasa de interés que hace el VPN igual a cero. Este indicador es calculado a partir de un flujo de caja periódico, trayendo al momento cero todas las cantidades futuras —flujos negativos y positivos—. Con este indicador se determina la rentabilidad del proyecto, y esta, a su vez, se compara con una tasa mínima aceptable de rendimiento o costo de oportunidad (Gómez y Díez, 2011). En este caso, la comparación se realiza con el costo del capital (WACC) de la empresa INDELPA S. A. (ver archivo de Excel adjunto: Flujo de caja del proyecto).

Tal y como se mencionó anteriormente, el desarrollo de esta instalación tiene un costo de ciento cuarenta millones de pesos (\$140.000.000). El costo de mantenimiento anual de los equipos es de aproximadamente el 0,5% del valor de la inversión, el cual se incrementa anualmente de acuerdo con el índice de precios al consumidor (IPC). Se toma como ingresos el ahorro del costo mensual que se paga por consumo de gas natural, que es aproximadamente de tres millones quinientos mil pesos (\$3.500.000). El flujo de caja se construye con un horizonte de diez (10) años, y se observa que la inversión se recupera a partir del sexto año; es decir, que, para el horizonte trazado, el proyecto resulta viable desde el punto de visto técnico y financiero.

Se calculan los indicadores financieros y se obtienen los siguientes resultados:

VPN: \$ 62.459.279 TIR: 21,55% TIRM: 24% RBC: 1.201

IRVA > 0, (a partir del período 6)

Los resultados de los indicadores son satisfactorios, el valor presente neto (VPN) es positivo; la tasa interna de retorno (TIR) y la tasa interna de retorno modificada (TIRM) son superiores al costo de capital de INDELPA (WACC 12,70%); la relación beneficio costo (RBC) es mayor que uno (1), es decir, los ingresos son superiores a los egresos; $IRVA > 0$ (Inversión por recuperar al final del período), a partir del período 6, es decir, el desempeño, es bueno; en consecuencia el proyecto resulta atractivo para el inversionista.

1.4.7 Evaluación ambiental

El impacto ambiental producido por la ubicación de un colector solar de tubos al vacío operado por termosifón, situado en el techo de la planta de producción INDELPA S. A., en la ciudad de Dosquebradas, considera todos los recursos consumidos en la fabricación, instalación, transporte y operación del colector solar seleccionado, y se lo compara con el consumo de gas natural que tiene un quemador de gas natural convencional que posee una eficiencia térmica de 0.8, para dar respuesta a los requerimientos de agua caliente, entre 45 °C y 60 °C de temperatura, que demanda diariamente el tratamiento químico de superficies en la empresa INDELPA S. A.

Dado que el sistema solar complementa la instalación a gas ya existente, no se consideran los flujos de materia y energía involucrados en la fabricación del quemador convencional, que sigue funcionando, y que supliría la carga térmica demandada que en algún momento no alcance a abastecer el sistema solar. Se han considerado además las emisiones liberadas y los recursos consumidos en los procesos energéticos (producción de la energía eléctrica consumida, transporte de materia prima) y en la elaboración de la materia prima empleada (principalmente aluminio, vidrio, cobre, acero inoxidable, fibra de vidrio y pintura selectiva); así también, todos

los procesos necesarios para el acabado de los materiales, laminados, rolados, etc. La fase de disposición final no ha sido incluida en este estudio, por falta de valores estadísticos locales atendibles.

1.4.8 Análisis de riesgo

La palabra riesgo viene del italiano *risicare*, que significa desafiar, retar, enfrentar, atreverse; de acuerdo con algunos autores, el riesgo puede definirse como la probabilidad de pérdida, implicando que el resultado no es seguro; este se encuentra relacionado con la incertidumbre, que se define como la inhabilidad para determinar en forma precisa la probabilidad de que pueda ocurrir un evento potencial, y sus resultados asociados (Mejía, 2012).

Cuando se realiza la evaluación financiera de proyectos, es necesario efectuar un análisis de los riesgos que se pueden presentar a lo largo de la vida útil del proyecto y que pueden afectar directamente la implementación y desarrollo del mismo. Los riesgos pueden ser clasificados, de forma general, en las siguientes categorías: riesgos tecnológicos, riesgos humanos, riesgos financieros y riesgos organizacionales, entre otros. Para controlar y minimizar los riesgos de un proyecto, se realiza un proceso de administración del riesgo, que consiste en identificar los riesgos que se pueden presentar y, posteriormente, realizar un análisis tanto cualitativo como cuantitativo (Gómez y Díez, 2011).

Con este análisis se determina el impacto del riesgo; es decir, la magnitud de las consecuencias que afectarán el proyecto, y se pueden clasificar como de bajo impacto-baja probabilidad, de bajo impacto-alta probabilidad, de alto impacto-baja probabilidad y de alto impacto-alta probabilidad; posterior a esta clasificación, se elabora la matriz de impacto de riesgo y se cuantifica el riesgo.

Para el caso en estudio, se elaboró la matriz de riesgos haciendo el análisis por entornos, así: entorno tecnológico, social, económico, político, ambiental y cultural; posterior a esto, se desarrolló la matriz de análisis de riesgos según las siete áreas del conocimiento del PMI (Project Management Institute), así: gestión del tiempo, gestión del alcance, gestión de la calidad, gestión de los costos, gestión de las comunicaciones, gestión de los recursos humanos y gestión de las adquisiciones. Cuando se han identificado los riesgos, se procede a determinar el impacto utilizando una tabla de calificación, de acuerdo con las consecuencias que genere el riesgo sobre el proyecto, según la probabilidad de ocurrencia y la gravedad del impacto. Con esta calificación, se elabora el perfil de los riesgos, que pueden ser constantes, frecuentes, moderados, ocasionales, remotos o improbables, y se halla la distribución porcentual del riesgo (ver Ilustración 8).

DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL RIESGO		
ZONA	TOTAL	PORCENTAJE
Aceptable	2	5,88%
Tolerable	2	5,88%
Inaceptable	23	67,65%
Inadmisible	7	20,59%
	34	100%

Ilustración 8. Distribución porcentual del riesgo - Análisis cuantitativo

Se obtiene un porcentaje de riesgo alto para este proyecto: 67% inaceptable y 20% inadmisible (ver archivo de Excel adjunto, Matriz de riesgos proyecto). En caso de que el proyecto resulte viable y la empresa decida ejecutarlo, se debe elaborar un plan de acción para minimizar el riesgo, o para controlarlo. Este es el análisis de riesgo cualitativo.

El análisis de riesgo cuantitativo se elabora a través de la herramienta @RISK, realizando los siguientes pasos:

En primer lugar, utilizando la opción *Define Distribution*, que permite asociar una función de distribución de probabilidad con una celda determinada. En segundo lugar, la opción *Add Output*, que define como variable de salida las celdas seleccionadas. En tercer lugar, *Insert functions*, que despliega un submenú con tres opciones principales: *Distribution Functions*, *Statics Functions* y *Other Functions*, con las que es posible definir las variables de salida (Gómez, Mora y Uribe, 2011). Ver Ilustración 9.

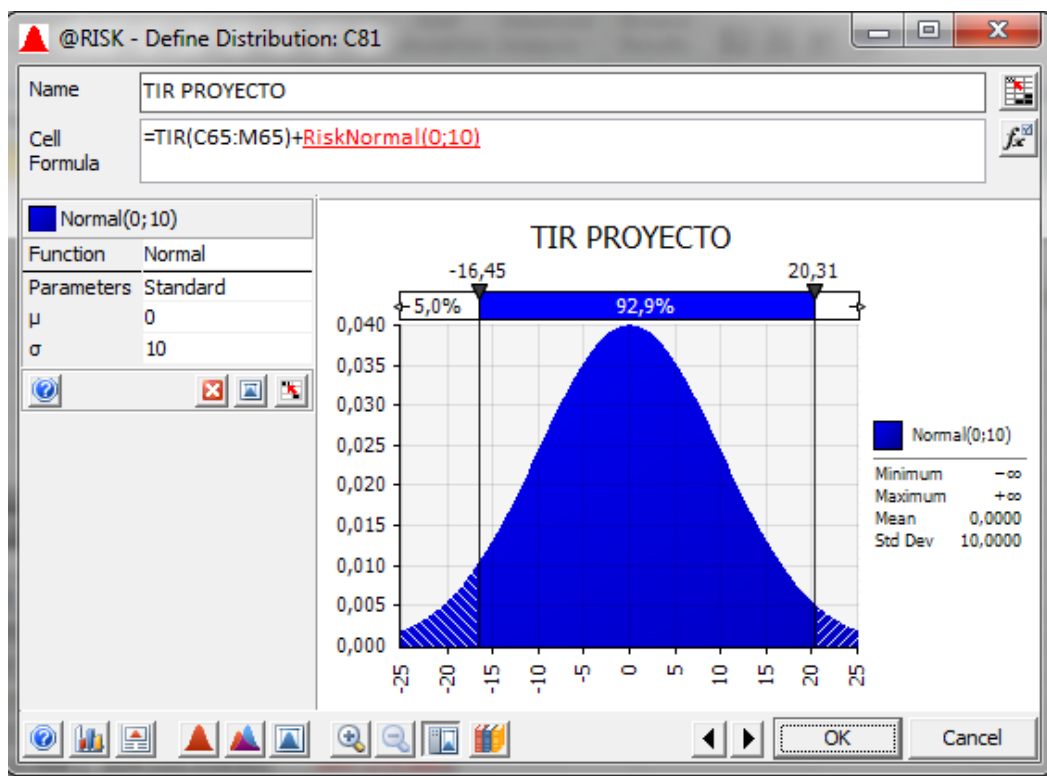


Ilustración 9. Selección de la distribución en herramienta *software* @RISK

Posterior a esto, se configura la simulación: en la opción *iterations*, se determina el número de iteraciones que tendrá la simulación; para este caso, se realizó con 1000 iteraciones, por la

velocidad de procesamiento, pero puede ejecutarse hasta con 10.000 iteraciones. Una vez se ha configurado la simulación, se procede a ejecutarla con el botón Start simulation. Como resultados de la simulación, la herramienta entrega una gráfica de histograma de frecuencia de la variable seleccionada (Gómez, Mora y Uribe, 2011). Para el caso en estudio, se simuló con una función de distribución normal, la cual es usada para modelar situaciones en las que se tiene información muy precisa sobre la variable, como en este caso.

Los resultados arrojados son los siguientes: se obtiene un 94,9% de probabilidad de que el VPN del proyecto alcance el valor de \$62.459.279. Se obtiene un 97,7% de probabilidad de que la TIR del proyecto alcance el valor de 21,55%. Ver Ilustraciones 10 y 11.

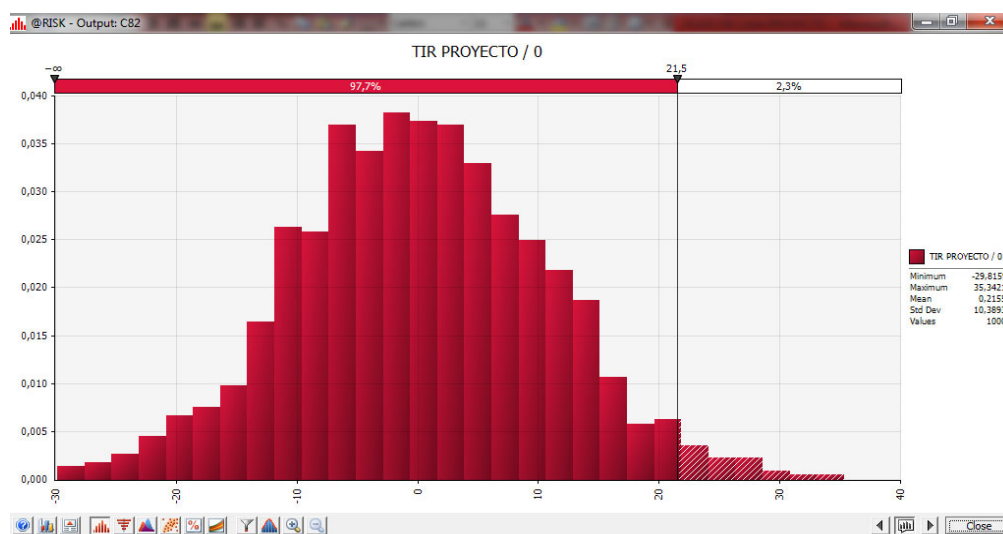


Ilustración 10. Análisis gráfico TIR proyecto, herramienta @RISK

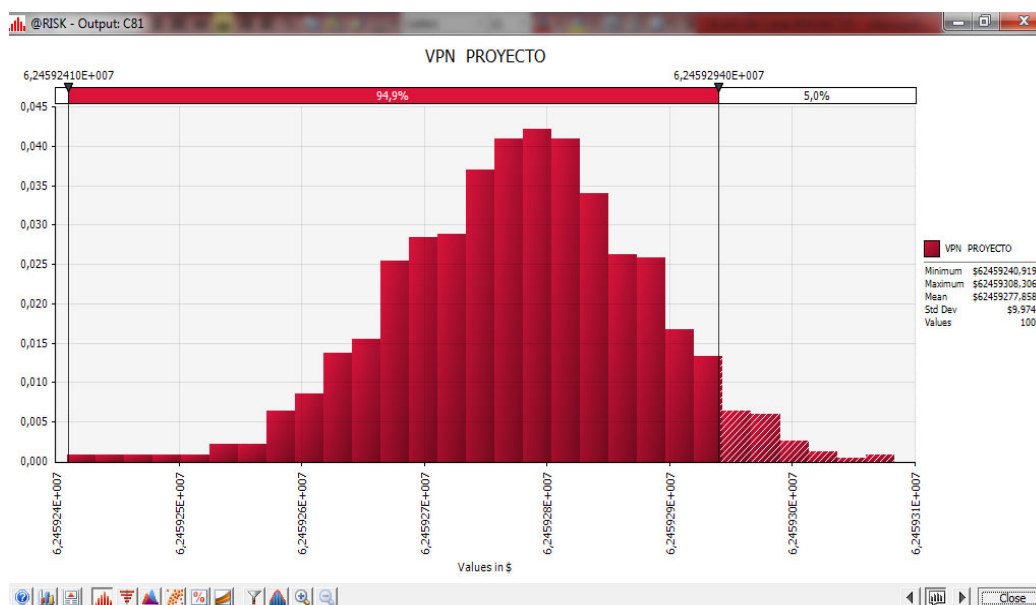


Ilustración 11. Análisis gráfico VPN proyecto, herramienta @RISK

1.5 Presentación y análisis de resultados

El estudio sobre el análisis de la viabilidad que tiene la implementación de un sistema térmico de energía solar para calentamiento de agua en el tratamiento químico de superficies en INDELPA S. A., entrega los siguientes resultados que se enuncian a continuación.

El estudio de mercado analizó las diferentes alternativas que oferta el mercado, en materia de colectores solares para aplicaciones térmicas de calentamiento de agua (colectores solares planos, colector solar de tubos al vacío de alta eficiencia, colector solar de concentración); dado que la solución no se piensa comercializar, no se realiza ni análisis de demanda ni de proyección de precios.

El estudio técnico definió que la mejor alternativa para utilizar es un colector solar de tubos al vacío de alta eficiencia, de características técnicas óptimas para obtener un rango de

temperaturas hasta 100 °C; como los requerimientos del proyecto oscilan entre 45 °C y 60 °C, cumple satisfactoriamente. El circuito colector de calor está hecho de un material altamente conductor como el cobre.

El estudio de administración y organizacional determina que no se requiere para la implementación del proyecto personal adicional al que ya está contratado. Se analiza la estructura organizacional de la empresa, cargos y funciones.

El estudio legal analiza la normatividad vigente que aplica para las instalaciones de colectores solares térmicos y presenta una descripción de las normas técnicas colombianas que regulan este tipo de instalaciones, así como los materiales y eficiencias de estos sistemas.

La evaluación financiera, apoyándose en las cotizaciones del mercado, determinó que el costo de la instalación de este sistema es de ciento cuarenta millones de pesos (\$140.000.000), que incluye colector solar de tubos al vacío, tanque termo aislado, válvulas, accesorios y puesta en funcionamiento (se anexa cotización). Se pueden utilizar herramientas de financiación del sector bancario o aprovechar los beneficios ofrecidos por el gobierno. Para el análisis de viabilidad financiera, se supone un crédito con tasa de interés de DTF + 10% *spread*, y se analiza para un horizonte de proyecto a diez años, teniendo en cuenta los costos de combustible mensual que se paga: el resultado es que el proyecto es viable financieramente.

El estudio ambiental evalúa los impactos que tendría la implementación de este sistema; al realizar los pros y contras, se logra determinar que con las reducciones de CO₂ a la atmosfera es mayor el beneficio ambiental que el impacto que se pueda generar con la implementación de este.

El análisis de riesgos arrojó que el porcentaje de riesgo de ejecución del proyecto es alto, pero que, sin embargo, es viable, y se debe elaborar un plan de acción que permita la minimización de estos riesgos.

1.6 Conclusiones

- 2.4.1 Se han descrito de manera clara y concisa los principios físicos de funcionamiento y los materiales que permiten un óptimo rendimiento de un sistema de aprovechamiento de energía solar, con base en las normas técnicas vigentes en Colombia, para una aplicación industrial de calentamiento de agua, específicamente en tratamiento químico de superficies metálicas.
- 2.4.2 Se pudo comprobar de forma teórica la viabilidad técnica y financiera del proyecto. Al realizar uno a uno los estudios que enmarcan el análisis de un proyecto, estos pasos permiten obtener un panorama general desde varios puntos de vista: administrativo, técnico, organizacional, ambiental, financiero, etc., para que la toma de decisiones sea lo más acertada posible.
- 2.4.3 De los resultados obtenidos, puede decirse que la implementación de un sistema de energía solar de colector de tubos al vacío de alta eficiencia que operado por termosifón constituye una excelente alternativa para reducir el impacto ambiental asociado al consumo de combustibles fósiles, disminuyendo así las emisiones de CO₂ a la atmosfera.
- 2.4.4 En cuanto a eficiencia económica, vemos que la sustitución del uso convencional de gas natural por sistema de energía solar resulta rentable, tomando un horizonte de proyecto a diez años y considerando los altos costos que se pagan mensualmente por este combustible gas natural. El proyecto es viable, ya que el consumo de gas es elevado, en

promedio mes, por valor de \$3.500.000, frente a los costos financieros generados por el préstamo para la adquisición del equipo nuevo de energía solar, adicionalmente la inversión se recupera a partir del sexto año. El proyecto tiene una TIR de 21,55%, frente a un costo de capital en INDELPA del 12,7%. La decisión gerencial debe involucrar también el aspecto ecológico, y buscar la implementación de energías limpias para reemplazar los combustibles fósiles.

2. Referencias

1. Analdex (2008). *Propuesta de Valor Sector Eléctrico, Propuesta de valor sectorial energía eléctrica, bienes y servicios conexos*. Recuperado de http://www.incubodc.com/memorias_congreso_cali/Octubre_29/Propuesta_Valor_Sectorial_ANALDEX.pdf
2. Baca Urbina, G. (2006). *Evaluación de Proyectos* (Quinta ed.). McGraw Hill. México.
3. Blanco, J., Malato, S., Fernández-Ibáñez, P., Alarcón D., Gernjak, W. y Maldonado, M. I. (2009). Review of feasible solar energy applications to water processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.13, 1437-1445. Recuperado de <http://www.deepdyve.com/lp/elsevier/review-of-feasible-solar-energy-applications-to-water-processes-z3wODxkJfv>
4. Burbano, J. C., Restrepo, A. H. y Sabogal, O. J. (2006). Diseño y construcción de un calentador solar de agua operando por termosifón. *Scientia et Technica*, año XII(31), 85-90. Recuperado de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6389/3677>
5. CIDET (Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico) (2013). *Caracterización del Sector Eléctrico Colombiano, Informe Final*. Recuperado de

- <http://www.cidet.org.co/sites/default/files/documentos/00-caract-sector-electrico-antecedentes.pdf>
6. CODENSA (2012). *Marco regulatorio*. Recuperado de http://empresas.micodensa.com/BancoConocimiento/E/el_mercado_de_la_energia_-_marco_regulatorio/el_mercado_de_la_energia_-_marco_regulatorio.asp
 7. Corficolombiana (2013). *Perspectivas económicas Corficolombiana. Proyecciones 2014: ¡No tan rápido!* Recuperado de <http://www.corficolombiana.com/webcorficolombiana/Repositorio/archivos/archivo2239.pdf>
 8. CREG (2011). *Comisión de Regulación de Energía y Gas Colombia*. Recuperado de www.creg.gov.co/html/index
 9. DIAN (2014), *CODIGO CIIU, Tabla Correlativa de Actividad Económica*. Recuperada de <http://www.dian.gov.co/contenidos/otros/micrositioCIIU.html>
 10. DANE (2013). Producto Interno Bruto. Cuarto trimestre de 2012. *Boletín de prensa N° 12*. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bolet_PIB_IVtrim12.pdf
 11. DANE (2012). Producto Interno Bruto. Segundo trimestre de 2012. *Boletín de prensa N° 10*. Recuperado de http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bolet_PIB_IItrim12.pdf
 12. Foro Nacional Ambiental – FNA (2011). Las licencias ambientales y su proceso de reglamentación en Colombia. Recuperado de <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/08360.pdf>
 13. Gómez, E. y Díez, J. (2011). *Evaluación Financiera de Proyectos*. Editorial Portafolio centro de Copiado (primera ed.). Colombia.
 14. Gómez, E., Mora, A. y Uribe, R. (2011). *Análisis de Riesgo en Proyectos con @RISK*, Editorial Litoimpresos y Servicios S. A. S. (primera ed.). Colombia.

15. ICONTEC (2014). Información sectorizada, Normas NTC, Publicaciones ICONTEC. Recuperado de www.icontec.org/index/publicaciones
16. Meinel, A. y Meinel, M. (1982). *Aplicaciones de la energía solar* (primera ed.). Editorial Reverté. México.
17. Mejía, R. C. (2012). *Administración de Riesgos. Un Enfoque Empresarial*, pp. 21-40. Editorial Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.
18. Aldana Millán, A. (2012). *Análisis crítico de la evaluación de impacto ambiental en el sector eléctrico colombiano y propuesta de mejora*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Recuperado de www.bdigital.unal.edu.co
19. Miranda, J. J. (2005). *Gestión de Proyectos. Identificación, formulación, evaluación. Financiera, económica, social y ambiental* (Quinta ed.). MM Editores. Bogotá, Colombia.
20. Ministerio de Minas y Energía (2013). *Plan de expansión de Referencia de Generación - Transmisión (PERGT) 2013 – 2027*. Recuperado de www1.upme.gov.co
21. Morales, A y Morales J., A. (2009). *Proyectos de Inversión. Evaluación y Formulación* (primera ed.). McGraw-Hill. México.
22. Palacios, L. (2009) *Gerencia de Proyectos. Un enfoque latino*. Editorial Publicaciones Universidad Católica Andrés Bello. Venezuela.
23. Rodríguez, G. (2011). *Las licencias ambientales y su proceso de reglamentación en Colombia*. Foro Nacional Ambiental. Bogotá. Colombia. Recuperado de <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/08360.pdf>
24. Rodríguez, H. y González, F. (1994) *Atlas de Radiación Solar en Colombia*, vol. 2 (Radiación sobre superficies inclinadas). Colombia 1994. Recuperado de http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf
25. Varela Villegas, J. R. (2010). *Evaluación económica de proyectos de inversión* (séptima ed.). McGraw Hill. México.

26. Vázquez Martínez, O. A., et ál. (2008). *Manual de instalaciones para el calentamiento de agua mediante el aprovechamiento de la energía solar*. Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal (primera ed.). México.